


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФЭ


 / Н.М. Верещагин

« 03 » 06 2020 г



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор РОПиМД

 / А.В. Корячко

« 06 » 06 2020 г

Заведующий кафедрой ЭП

 / М.В. Чиркин

« 09 » 06 2020 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.02.02 «Приемники оптического излучения»**

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки

«Электронные приборы и устройства»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2020 г.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»,

утвержденного 19.09.2017 №927

Разработчики

д.ф.-м.н., профессор кафедры «Электронные приборы»



Б.А. Козлов

---

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

« 09 » 06 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой «Электронные приборы»

д.ф. - м.н., профессор



М.В. Чиркин

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Рабочая программа по дисциплине «Приемники оптического излучения» является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академического бакалавриата, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

*Цель освоения дисциплины* - подготовка специалистов способных грамотно использовать научные знания в области измерения параметров и характеристик оптического излучения.

*Задачи дисциплины:* приобретение знаний в области физических основ и принципов действия современных приемников оптического излучения, знакомство с типами приемников излучения, современной элементной базой, параметрами и характеристиками этих важнейших узлов современных оптико-электронных систем.

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
	ПК-2. Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<u>Знать:</u> основные методы экспериментального исследования параметров приёмников оптического излучения <u>Уметь:</u> ставить эксперименты по исследования параметров приёмников оптического излучения <u>Владеть:</u> навыками измерения параметров приёмников оптического излучения
	ПК-8. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	<u>Знать:</u> основные этапы производства приемников оптического излучения <u>Уметь:</u> обосновывать применение технологических подходов при формировании необходимых характеристик приемников оптического излучения <u>Владеть:</u> основными приемами выбора технологических операций при производстве приемников оптического излучения

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Приемники оптического излучения» (Б1.В.ДВ.02.02) относится к вариативной части блока 1 дисциплин (модулей) учебного плана направления подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»; ОПОП «Электронные приборы и устройства».

Дисциплина «Приемники оптического излучения» (Б1.З.В.046) базируется на следующих дисциплинах учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 «Электроника и

наноэлектроника»: «Основы статистической физики», «Физические основы электроники», «Твердотельная электроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Материалы электронной техники».

Дисциплина изучается бакалаврами по очной форме обучения на втором курсе в третьем семестре. Требования к входным знаниям совпадают с требованиями к освоению перечисленных выше дисциплин.

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

*знать*: базовые концепции и модели современной оптики, квантовой и статистической физики, основные свойства и законы движения микрочастиц, основные законы внешнего и внутреннего фотоэффекта, основы зонной теории твердых тел, явления в контактах полупроводников с различными типами проводимости и в контактах «металл–полупроводник–диэлектрик»;

*уметь*: применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с задачей исследования фотоэлектронных процессов и построения оптимальных оптических схем приемников оптического излучения;

*владеть*: навыками экспериментального исследования параметров и характеристик приемников оптического излучения, пользоваться необходимыми регистрирующими приборами и устройствами.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

*Трудоемкость дисциплины – 3 зачетных единицы (ЗЕ), 108 час.*

Вид учебной работы	Всего часов		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе:	108	-	-
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	32	-	-
Лекции	16	-	-
Лабораторные работы	16	-	-
Практические занятия	-	-	-
Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:	76	-	-
Курсовой проект/ курсовая работа	-	-	-
Подготовка к экзамену, консультации	-	-	-
Консультации в семестре	4	-	-
Иные виды самостоятельной работы	72	-	-
Вид промежуточной аттестации обучающихся:	экзамен	-	-

### 4. Содержание дисциплины

#### 4.1. Содержание разделов дисциплины

##### Тема 1. Введение.

Предмет дисциплины «Приемники оптического излучения» и ее основные задачи. Основные этапы развития приемников оптического излучения, их классификация, основные параметры и характеристики. Связь изучаемой дисциплины с разделами физики и другими дисциплинами направления.

##### Тема 2. Основные физические эффекты, обеспечивающие регистрацию оптического излучения, и принципы построения фотоприемников.

Классификация приемников оптического излучения по основным физическим процессам, вызывающим первичное преобразование регистрируемого излучения в измеряемый сигнал.

Фотоэлектрические, тепловые и пироэлектрические приемники. Основные параметры и характеристики фотоприемников.

### **Тема 3. Электровакуумные приемники оптического излучения.**

Электровакуумные и твердотельные фотоприемники. Электромагнитное излучение оптического диапазона и основные закономерности его поглощение в твердых и газообразных средах. Эффективные фотоэмиссионные материалы. Полупроводниковые фотокатоды с нулевым и отрицательным электронным сродством. Массивные и полупрозрачные фотокатоды.

Конструкции фотоэлементов, их характеристики и параметры. Скоростные фотоэлементы. Предельное быстродействие.

Фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Принцип действия и устройство основных типов ФЭУ. Предельная чувствительность и предельное быстродействие. Возможность регистрации единичных фотонов.

### **Тема 4. Твердотельные приемники оптического излучения.**

Внутренний фотоэффект и фотопроводимость твердых тел. Спектральные зависимости квантового выхода внутреннего фотоэффекта и фотопроводимости.

Типы и конструкции фоторезисторов. Конструкции фотоприемников для регистрации инфракрасного излучения.

Механизм образования фото-ЭДС в полупроводниках с электронно-дырочным переходом и в структурах «металл-полупроводник». Основные характеристики и параметры фотогальванических приемников в фотогальваническом и фотодиодном режимах работы.

Низкочастотные и высокочастотные фотодиоды. p-i-n-фотодиоды. Фотогальванические приемники с внутренним усилением.

### **Тема 5. Координатно-чувствительные фотоприемники.**

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) как многоэлементные фотоприемники. Фотопроцессы в структурах типа «металл-диэлектрик-полупроводник» – «металл-окисел-полупроводник» (МДП- и МОП-структурах).

Устройство фотоприемников на основе МОП-структур и организация переноса информационного заряда. Методы переноса зарядов, создаваемых оптическим излучением. Спектральная чувствительность фотоприемников на основе МОП-структур. Линейные и матричные фотоприемники. Координатно-чувствительные приемники инфракрасного излучения. Фотоприемники на основе низкоразмерных структур

### **Тема 6. Заключение.**

Перспективы и основные тенденции развития современных приемников оптического излучения.

## **4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).**

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа обучающихся
			Всего	лекции	Практ	лабор	
1	Введение.	4	2	2	-	-	2
2	Основные физические эффекты, обеспечивающие регистрацию оптического излучения, и принципы построения фотоприемников.	18	6	2	-	4	12
3	Электровакуумные приемники оптического излучения.	26	6	2	-	4	20

	ния						
4	Твердотельные приемники оптического излучения	26	8	4	-	4	18
5	Координатно–чувствительные фотоприемники	26	8	4	-	4	18
6	Заключение	4	2	2	-	-	2
7	Консультации в семестре	4	-	-	-	-	4
	Всего:	<b>108</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>76</b>

### 4.3 Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Введение.	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций.	2
2	Основные физические эффекты, обеспечивающие регистрацию оптического излучения, и принципы построения фотоприемников.	Самостоятельная работа обучающегося	Классификация приемников оптического излучения по основным физическим процессам, вызывающим первичное преобразование регистрируемого излучения в измеряемый сигнал. Фотоэлектрические, тепловые и пироэлектрические приемники. Основные параметры и характеристики фотоприемников. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	12
		Лабораторная работа	Изучение быстродействия вакуумных и твердотельных фотоприемников оптического излучения	4
3	Электривакуумные приемники оптического излучения	Лабораторная работа	Изучение световых и вольт – амперных характеристик вакуумного фотоэлемента	4

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
		Самостоятельная работа обучающегося	Электровакуумные и твердотельные фотоприемники. Электромагнитное излучение оптического диапазона и основные закономерности его поглощения в твердых и газообразных средах. Эффективные фотоэмиссионные материалы. Полупроводниковые фотокатоды с нулевым и отрицательным электронным средством. Фотоэлектронные умножители. Принцип действия и устройство основных типов ФЭУ. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	20
4	Твердотельные приемники оптического излучения	Лабораторная работа	Изучение световых и временных характеристик фотоприемника фотоэлектронного умножителя	4
		Самостоятельная работа обучающегося	Внутренний фотоэффект и фотопроводимость твердых тел. Спектральные зависимости квантового выхода внутреннего фотоэффекта и фотопроводимости. Типы и конструкции фоторезисторов. Конструкции фотоприемников для регистрации инфракрасного излучения. Низкочастотные и высокочастотные фотодиоды. p-i-n-фотодиоды. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	18
5	Координатно-чувствительные фотоприемники	Лабораторная работа	Изучение принципа действия и световых характеристик ПЗС-матрицы	4
		Самостоятельная работа обучающегося	Проектирование полевого транзистора. Изучение конспекта лекций. Подготовка к ЛР. Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	18
6	Заключение	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций	2
7	Консультации в семестре	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к теоретическому зачету	4

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов. Приемники оптического излучения. М: Лань, 2014. –394 с.
2. Якушенков Ю.Г. Основы оптико–электронного приборостроения. М: Логос, 2013. –428 с.
3. Базовые лекции по электронике. Том I. Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника. Под ред. В.М. Пролейко. –М., Техносфера, 2009. –480 с.
4. Базовые лекции по электронике. Том II. Твердотельная электроника. Под ред. В.М. Пролейко. –М., Техносфера, 2009. –608 с.
5. О.В. Андреева, А.А. Парамонов, С.В. Артемьев, В.Н. Крылов, Н.В. Ионина, А.С. Златов. Основы оптоинформатики. Экспериментальный практикум. –Санкт –Петербург: ИТМО, 2007. – 256 с.
6. А.А. Загрубский, Н.М. Цыганенко, А.П. Чернова. Детекторы излучения. –Санкт –Петербург: ИТМО, 2007. –68 с.
7. Филачев А.М., Таубкин И.И., Тришенков М.А. Твердотельная фотоэлектроника. –М., Физматгиз, 2005. –304 с.
8. А. Рогальский. Инфракрасные детекторы. –Новосибирск. Наука, 2003. –618 с.
9. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. –М., Высшая школа, 2001. –576 с.
10. Б.А. Козлов. Волоконная оптика. –Рязань, РГРТУ, 2015. –256 с.
11. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. –М.: Техносфера, 2004. –592 с.
12. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. –М.: Машиностроение, 2007. –496 с.
13. Удд Э. Волоконно–оптические датчики. –М.:Техносфера, 2008. –480 с.

### **Перечень учебно-методического обеспечения лабораторных занятий**

1. Исследование временных характеристик неохлаждаемых фотоприемников. Методические указания к лабораторным работам «Волоконная оптика». Сост. Козлов Б.А. Рязань: РГРТУ, 2010, с.24–38. (№ 4291).
2. Временные характеристики детекторов лазерного излучения. Методические указания к лабораторной работе. Сост. Козлов Б.А. Рязань: РГРТУ, 2015, 12 с. (№ 4856).
3. Изучение параметров импульсов излучения мощного азотного лазера. Методические указания к лабораторным работам «Первичные средства сбора информации». Сост. Козлов Б.А. Рязань: РГРТУ, 2010, с.32–48. (№ 4282).

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) «приемники оптического излучения»**

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Приемники оптического излучения»).

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **Основная учебная литература:**

1. Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов. Приемники оптического излучения. М: Лань, 2014. –394 с.
2. Якушенков Ю.Г. Основы оптико–электронного приборостроения. М: Логос, 2013. –428 с.
3. Базовые лекции по электронике. Том I. Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника. Под ред. В.М. Пролейко. –М., Техносфера, 2009. –480 с.
4. Базовые лекции по электронике. Том II. Твердотельная электроника. Под ред. В.М. Пролейко. –М., Техносфера, 2009. –608 с.
5. О.В. Андреева, А.А. Парамонов, С.В. Артемьев, В.Н. Крылов, Н.В. Ионина, А.С. Златов. Основы оптоинформатики. Экспериментальный практикум. –Санкт –Петербург: ИТМО, 2007. – 256 с.
6. А.А. Загрубский, Н.М. Цыганенко, А.П. Чернова. Детекторы излучения. –Санкт –Петербург: ИТМО, 2007. –68 с.



7. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. –М., Физматгиз, 2005.

8. А. Рогальский. Инфракрасные детекторы. –Новосибирск. Наука, 2003. –618 с.

#### **Дополнительная учебная литература:**

1. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. –М., Высшая школа, 2001. –576 с.

2. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. –М.: Техносфера, 2004. –592 с.

3. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. –М.: Машиностроение, 2007. –496 с.

4. Удд Э. Волоконно–оптические датчики. –М.: Техносфера, 2008. –480 с.

#### **Интернет–ресурсы:**

1. Шишкин Г.Г., Шишкин А.Г. Электроника. –М.: Дрофа, 2009. –702 с.  
[https://www.radiosovet.ru/book/teoria/5578\\_electronica\\_uchebnik\\_dlya\\_vuzov.html](https://www.radiosovet.ru/book/teoria/5578_electronica_uchebnik_dlya_vuzov.html)

2. Бараночников М.П. Приемники и детекторы излучений. Справочник. –М.: ДМК–Пресс, 2012. –640 с. – [studbooks.net/1931635/matematika\\_himiya\\_fizika/priemniki\\_opticeskogo\\_izlucheniya](http://studbooks.net/1931635/matematika_himiya_fizika/priemniki_opticeskogo_izlucheniya)

3. Федосеев В.И., Колосов М.П. Оптико–электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов. –Логос, 2007. –<http://mirknig.on-line/p/apx>.

### **8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Материал каждой лекции рекомендуется изучать в день ее прочтения лектором, когда она еще не забыта. При этом необходимо использовать конспект и рекомендованную литературу. Использовать литературу необходимо для углубленного изучения материала лекции и для уточнения тех мест, которые в конспекте оказались записаны недостаточно понятно. В конспекте каждой лекции необходимо оставлять чистое место и конспектировать в нем разделы из изучаемой литературы с тем, чтобы при подготовке к текущей, промежуточной или итоговой аттестации можно было повторить всю изучаемую на данный момент тему. Лектором в течение всего семестра проводятся консультации по лекционному материалу и самостоятельной работе.

Каждую тему, предусмотренную планом самостоятельной работы, следует изучать самостоятельно в течение отведенных для ее изучения двух недель с помощью рекомендованной литературы. Все возникающие при этом вопросы надо записывать, чтобы получить на них ответы на консультации. По каждой теме для каждой учебной группы лектор проводит консультации в конце ее изучения (один раз в две недели).

Расписание консультаций вывешивается на весь семестр на доске объявлений лаборатории по дисциплине. В конце каждой консультации проводится тест по теме, при успешном прохождении которого тема считается изученной.

К каждому практическому занятию надо готовиться с помощью конспекта лекций по теме работы, изучения рекомендованной литературы и методических рекомендаций к практическим занятиям.

В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку необходимо заранее, не дожидаясь последней недели семестра.

Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

### **9. Перечень информационных и образовательных технологий**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», ОПОП «Электронные приборы и устройства» при изучении бакалаврами дисциплины «Приемники оптического излучения» (Б1.3.В.046) реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе

активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

– доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;

– необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях;

Необходимое программное обеспечение:

1. Операционная система Windows.
2. Пакет Microsoft Office или иное свободно распространяемое программное обеспечение.
3. Пакет Mathcad.

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения базируется на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций и практических занятий, дополняемых самостоятельной работой обучаемых, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия экспресс-заданий, совокупность которых позволяет практически применить полученные знания, развивая компетенции, предусмотренные для данной дисциплины.

Проведение ряда занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий, а также раздаточных материалов.

После изучения отдельных разделов дисциплины осуществляется проведение рубежного контроля усвоения материала студентами в виде заданий, предусматривающих самостоятельное решение задач и ответов на тестовые задания.

Выбранные технологии эффективно поддерживают достижение магистрантами принятых для дисциплины «Приемники оптического излучения» общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

#### **10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Для освоения дисциплины необходима следующая материально-техническая база.

1. Лекционные занятия:

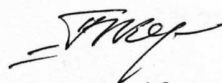
- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

2. Лабораторные работы:

- лаборатория, оснащенная установками для проведения необходимых экспериментальных исследований оптико-электронных приборов и устройств.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», ОПОП – «Электронные приборы и устройства» (квалификация выпускника – бакалавр, форма обучения – очная).

Программу составил  
д.ф.-м.н., профессор кафедры  
электронных приборов



Б.А. Козлов